

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CURITIBANOS
DANIEL ALVES DA VEIGA GRUBERT

**DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM
SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Curitibanos
2016

DANIEL ALVES DA VEIGA GRUBERT

**DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM
SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, do Centro Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega

Curitibanos

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Grubert, Daniel Alves da Veiga
Distribuição Longitudinal e Produtividade de Soja em
Sistema de Integração Lavoura-Pecuária / Daniel Alves da
Veiga Grubert ; orientador, Eduardo Leonel Bottega -
Curitiba, SC, 2016.
23 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitiba. Graduação em Agronomia.

Inclui referências

1. Agronomia. 2. Glycine max. 3. Variabilidade
espacial. 4. Geostatística. 5. Krigagem. I. Bottega,
Eduardo Leonel. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO CURITIBANOS
Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia
Rodovia Ulisses Gaboardi, km3 – Zona Rural – CEP: 89520-000 – Curitibanos/SC
CEP 89520-000 – Curitibanos – SC
TELEFONE: (48) 3721 -4168 Email: agronomia.cbs@contato.ufsc.br

DANIEL ALVES DA VEIGA GRUBERT

**DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM
SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Agronomia.

Curitibanos, 11 de julho de 2016.

Prof. Dr. Samuel Luiz Fioreze
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Leonel Bottega
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profª. Drª. Kelen Cristina Basso
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Samuel Luiz Fioreze
Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6

2 MATERIAL E MÉTODOS 8

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 11

4 CONCLUSÕES 18

Abstract 19

REFERÊNCIAS 20

Distribuição longitudinal e produtividade de soja em sistema de integração lavoura-pecuária

Daniel Alves da Veiga Grubert

Resumo

A operação de semeadura da soja tem grande importância no rendimento da cultura, pois a uniformidade da distribuição longitudinal de plantas pode contribuir para um adequado estande de plantas e melhoria da produtividade. O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial da distribuição longitudinal de plantas e da produtividade de soja, através da estatística clássica (descritiva e exploratória), geostatística (análise espacial) para verificar a existência e mensurar a magnitude da dependência espacial, e elaboração de mapas temáticos por meio da técnica de krigagem. O experimento foi conduzido em uma área comercial sob sistema de integração lavoura-pecuária na região de Curitiba, Santa Catarina. Foi estabelecida uma malha amostral de 66 pontos georreferenciados espaçados 50 metros entre si. Em cada ponto amostral foi mensurada a distância entre plantas, plantas por metro e a colheita das plantas presentes em três linhas de um metro de comprimento, sendo então determinado o percentual de espaçamentos normais, falhos e duplos bem como a produtividade. Os dados coletados serviram de base para as análises estatísticas e geostatísticas. A variabilidade espacial dos atributos, espaçamentos falhos (EF) e espaçamentos normais (EN), apresentou dependência espacial classificada como moderada, com alcances de 84,9 e 96,5 metros, respectivamente. A classe de espaçamentos duplos (ED), plantas por metro (PM) e produtividade de soja não apresentaram dependência espacial na distância entre pontos amostrais, indicando que suas distribuições são aleatórias e suas variações podem ser explicadas com o uso de parâmetros da Estatística clássica. A produtividade de soja não apresentou correlação significativa com nenhum dos atributos estudados.

Palavras-chave: *Glycine max*. Variabilidade espacial. Geostatística. Krigagem.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas do mundo. Segundo o sexto levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento, a produção brasileira de soja na safra 2015/16 foi estimada em 101,179 milhões de toneladas, em uma área de 33,244 milhões de hectares e com uma produtividade média de 3.043 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

No cenário atual mundial a busca pelo aumento da produtividade das culturas, para suprir demandas cada vez maiores por alimentos, é um dos principais fatores que incentivam pesquisas e inovações na agricultura. A operação de semeadura, por sua vez, tem grande importância no rendimento da cultura, pois influencia o estabelecimento de um estande de plantas uniformemente distribuídas nas linhas, com competitividade e eficiência no uso dos recursos do ambiente (TOURINO et al., 2009).

Na cultura da soja o agrupamento de plantas em determinados pontos pode ocasionar plantas menos ramificadas, mais altas, com menor produtividade individual além de reduzir o diâmetro dos caules, tornando-as mais suscetíveis ao acamamento. Ao contrário, espaçamentos falhos na linha podem dar origem a plantas de soja com tamanho reduzido e facilitar o desenvolvimento de plantas daninhas, diminuindo a produtividade (PINHEIRO NETO et al., 2008), ressaltando que os fatores genéticos inerentes a cultura, fertilidade do solo e população de plantas de soja podem determinar esse comportamento fenotípico, e muitas vezes, dependendo da cultivar, a capacidade da planta em alterar sua morfologia e componentes do rendimento para adequar-se ao arranjo espacial imposto a ela (plasticidade) pode compensar a variação dos espaçamentos de plantas mantendo a produtividade (PIRES et al, 2000; RAMBO et al, 2003). Portanto, estudar a uniformidade da distribuição longitudinal de plantas pode contribuir para um estande adequado de plantas e melhoria da produtividade (SANTOS et al., 2011).

Segundo Silveira et al. (2005) diversos fatores determinam a uniformidade de distribuição das plantas nas linhas como a porcentagem de germinação, vigor e pureza das sementes, ataque de pragas e doenças, teor de umidade e temperatura do solo, bem como os tipos de semeadoras e regulagens. Em relação às semeadoras, as variáveis da operação de semeadura como

velocidade de semeadura, profundidade de deposição de sementes e mecanismo dosador de sementes desempenham grande importância e afetam diretamente a distribuição longitudinal de plantas. A qualidade da dosagem de sementes, expressa pela porcentagem de espaçamentos normais, falhos e duplos, e o coeficiente de variação dos espaçamentos são utilizados para avaliação de características operacionais de semeadoras (KURACHI et al., 1989; DIAS et al., 2009).

A variabilidade dos atributos físicos e químicos dos solos, relevo, plantas, manejo, enfim, de todos os fatores de produção, se expressa na colheita através de diferenças na produtividade ao longo da lavoura (MOLIN, 2002). Porém, segundo a teoria das variáveis regionalizadas, essa variabilidade pode carregar consigo uma forte influência dos valores de sua vizinhança (REICHARDT; TIMM, 2012). Dessa forma, a estatística clássica que assume que a variação das amostras é aleatória e independente não representa de forma ideal a variabilidade que apresenta dependência espacial, podendo levar a erros e alterar resultados de pesquisas, sendo o mais adequado nestes casos o uso da geostatística, que, por sua vez, permite avaliar a continuidade e a variação dos valores de um atributo de um local para outro (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002; REICHERT et al., 2008; FARACO et al., 2008).

O semivariograma, uma das ferramentas da geoestatística, analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, definindo os parâmetros fundamentais para a estimativa de valores em locais não amostrados através da técnica de krigagem, e que, posteriormente, torna possível a construção de mapas da distribuição espacial do atributo em estudo na área (DALCHIAVON; CARVALHO, 2012). Portanto, a análise conjunta dos semivariogramas e mapas obtidos através da krigagem permitem o conhecimento da distribuição longitudinal de plantas e a influência deste fator na variabilidade da produtividade de soja, sendo fundamental à tomada de decisão nas práticas de manejo, regulagens da semeadora e agricultura de precisão (SANTOS et al., 2011; VIEIRA, 2000).

O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial da distribuição longitudinal de plantas e da produtividade de soja, em uma área comercial sob sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Curitiba, Santa Catarina.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Curitibanos, estado de Santa Catarina, durante a safra 2015/2016 em uma área de sistema de integração lavoura-pecuária há três anos, localizada a 27°18'41" de latitude Sul e 50°38'06" de longitude Oeste. O solo do local é classificado como Latossolo bruno, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), com temperatura média anual de 16° C e precipitação média de 1600 mm (ALVARES et al., 2013).

O conjunto mecanizado utilizado para semeadura da cultura da soja foi composto por uma semeadora-adubadora, marca Stara, modelo Victoria, equipada com 14 linhas espaçadas em 0,45 metros, com mecanismo dosador de sementes do tipo disco alveolado horizontal. A semeadora foi tracionada por um trator John Deere, modelo 6165 J, com 165 c.v. de potência nominal (121,3 kW). A velocidade de semeadura adotada foi de 7 km h⁻¹. A cultivar de soja utilizada foi a 6909 IPRO Nidera de ciclo médio, semeada de acordo com a época de recomendação do material para o local. A adubação da cultura foi realizada com 80 kg ha⁻¹ de KCl em pré-semeadura e 300 kg ha⁻¹ de adubo formulado NPK 3-30-11 na base.

Estabeleceu-se, na área estudada, uma malha amostral composta por 66 pontos georreferenciados distanciados 50 metros entre si, que serviram como base para coleta dos dados (Figura 1).

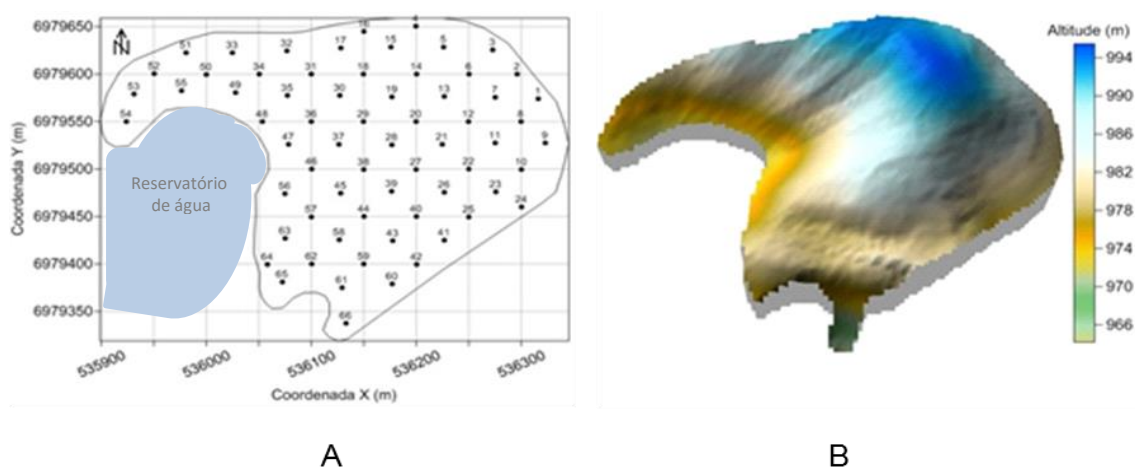


Figura 1. Área experimental com malha de pontos amostrais (A) e modelo digital de elevação (B). Safra de soja 2015/16. Curitibanos/SC, 2016.

A avaliação da distribuição longitudinal de plantas foi realizada com as plantas em estágio vegetativo V4 da escala fenológica da cultura, com o uso de uma régua de um metro graduada em milímetros. Em cada ponto amostral foi efetuada a mensuração da distância entre plantas presentes em três linhas de um metro de comprimento, totalizando três metros em cada ponto amostral. Desta forma, foi determinado o percentual de espaçamentos entre plantas (EEP) normais, falhos e duplos.

A classificação dos espaçamentos entre plantas nas classes normal, falho e duplo foi determinada de acordo com a regulagem da semeadora, tendo como referência o espaçamento entre sementes (EES). As classes de espaçamento entre plantas, normais ($0,5 \text{ EES} < \text{EEP} < 1,5 \text{ EES}$), duplos ($\text{EEP} < 0,5 \text{ EES}$) e falhos ($\text{EEP} > 1,5 \text{ EES}$) foram definidas assim segundo normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1985) e Kurachi et al. (1989). Desta forma, com a regulagem da semeadora para depositar 14 sementes por metro, produzindo um espaçamento entre sementes de 7 cm, os espaçamentos entre plantas (EEP) foram enquadrados como normais ($3,5 \text{ cm} < \text{EEP} < 10,5$), falhos ($\text{EEP} > 10,5 \text{ cm}$) e duplos ($\text{EEP} < 3,5 \text{ cm}$).

Para a avaliação da produtividade de soja foram coletadas todas as plantas presentes em três linhas de um metro de comprimento em cada ponto amostral, ao final do ciclo da cultura. As linhas apresentavam espaçamento de 0,45 m, sendo a área colhida equivalente a $1,35 \text{ m}^2$. As amostras foram trilhadas e a massa de grãos obtida utilizando uma balança de precisão. Conhecendo a massa de grãos representativa de $1,35 \text{ m}^2$, estimou-se a produtividade de soja (kg ha^{-1}).

Os dados coletados foram digitados em uma planilha do Excel® que serviu de base para as análises estatísticas e geoestatísticas. Em um primeiro momento foi realizada análise estatística descritiva, a fim de caracterizar a dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação,) e a posição (média, mediana, valor mínimo e valor máximo). Testou-se a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro Wilk's ($p > 0,05$) e calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$). Posteriormente realizou-se análise geoestatística, objetivando verificar a existência e mensurar a magnitude da dependência espacial dos parâmetros estudados.

A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (1)$$

Em que,

$\hat{\gamma}(h)$ = Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h = Distância de separação entre pares de pontos, m;

N (h) = Número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_{i+h})$ separados por uma distância h.

Foram testados os modelos, linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Selecionou-se o modelo que apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). Após a escolha do modelo, foram determinados os parâmetros: efeito pepita (C_0), que é o valor da semivariância quando h é igual a zero; patamar ($C_0 + C$), cujo valor é aproximadamente igual a variância dos dados; alcance (A) a partir da qual a semivariância é constante. O índice de dependência espacial (IDE), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$), foi calculado usando a Equação 2, de acordo com Cambardella et al. (1994), e apresenta a seguinte proporção: (a) dependência forte <25%; (b) dependência moderada de 26 a 75%, (c) dependência fraca >75% e (d) independência entre as amostras quando a relação for igual a 100%.

$$IDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático da distribuição espacial do atributo por meio de krigagem ordinária. A estatística descritiva foi realizada no programa Statistica, versão 7 (STATSOFT, 2004). A análise geoestatística e os modelos dos semivariogramas dos atributos estudados foram ajustados utilizando o software GS+, versão 9 (ROBERTSON, 1998). Os mapas temáticos foram gerados utilizando o programa Surfer, versão 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos que caracterizam os dados das variáveis estudadas. Em todas as classes de espaçamentos entre plantas e plantas por metro (PM) os valores da média e mediana foram próximos, portanto houve tendência a ser simétrica a distribuição dos dados. Os valores de coeficiente de variação dos espaçamentos falhos (EF), espaçamentos normais (EN) e espaçamentos duplos (ED) foram classificados como médio ($12\% < CV < 60\%$), segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980). A classe dos EF apresentou maior heterogeneidade, com coeficiente de variação (CV) de 52,71%. Em contrapartida, os atributos plantas por metro e produtividade de soja exibiram os menores coeficientes de variação (CV) sendo respectivamente 10,95% e 9,14%, considerados baixo ($CV < 12\%$), o que indica homogeneidade destas variáveis.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis estudadas. Safra de Soja 2015/2016. Curitiba/SC, 2016.

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	$\sigma^{(1)}$	CV(%)	W ⁽²⁾
EF ⁽³⁾	16,08	14,96	1,67	42,61	71,87	8,48	52,71	0,87*
EN ⁽⁴⁾	50,92	51,44	32,14	77,78	87,85	9,37	18,41	0,97 ^{ns}
ED ⁽⁵⁾	33,00	32,99	13,33	50,65	52,65	7,26	21,99	0,99 ^{ns}
PM ⁽⁶⁾	17,14	17,17	12,00	21,33	3,52	1,88	10,95	0,98 ^{ns}
PRD ⁽⁷⁾	4916,41	4935,41	4067,11	5929,93	201809	449,23	9,14	0,98 ^{ns}

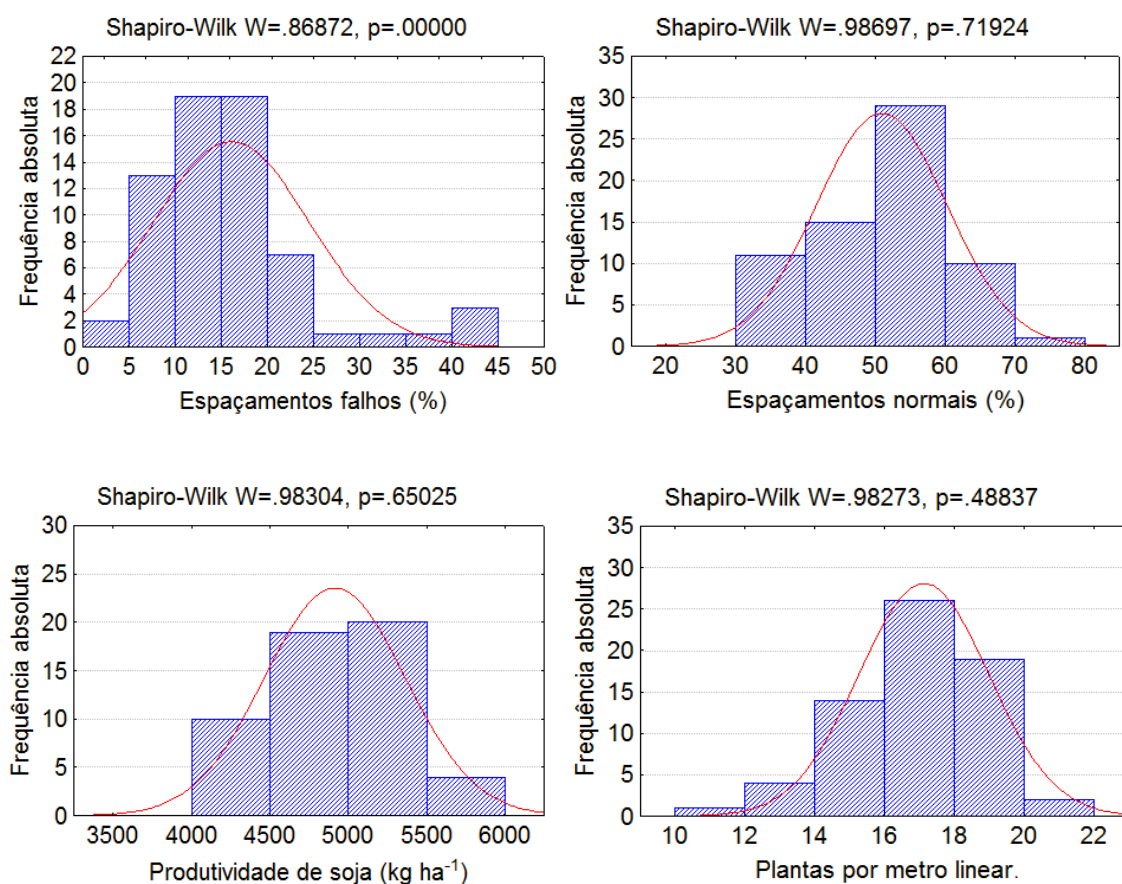
⁽¹⁾Desvio padrão; ⁽²⁾Teste de normalidade de Shapiro-Wilk; ⁽³⁾Espaçamentos falhos (%);

⁽⁴⁾Espaçamentos normais (%); ⁽⁵⁾Espaçamentos duplos (%); ⁽⁶⁾Plantas por metro;

⁽⁷⁾Produtividade de soja (kg ha^{-1}). *Distribuição não normal; ^{ns}Distribuição normal.

A média das classes de EF, EN e ED foi de 16%, 51% e 33%, respectivamente. Segundo Klein et al. (2002), avaliando os efeitos da velocidade de semeadura de soja, os valores médios da porcentagem de EF, EN e ED foram, nesta ordem, 24%, 38% e 38%. Cortez et al. (2006) em experimento avaliando a distribuição longitudinal de sementes de soja em plantio direto, obteve valores médios de porcentagem de EF, EN e ED, respectivamente, 22,5%, 59% e 18,5%. Segundo Mialhe (1996) é considerado uma semeadura de precisão uma porcentagem de EN acima de 60%, o que não foi observado na média geral de EN, somente em pequenas manchas na

área em estudo. A recomendação de população de plantas para a região de Curitiba, Santa Catarina, é de 230 a 280 mil plantas por hectare, entretanto, a média de 17 PM fornece uma população de mais de 377 mil plantas por hectare, isso pode explicar a baixa variação dos valores de produtividade de soja na área devido a grande população de plantas por hectare. De acordo com o teste de normalidade dos dados Shapiro-Wilk ($p > 0,05\%$) somente a classe de espaçamentos falhos não apresentou normalidade, conforme pode ser visualizado na Figura 2, em que se encontram as representações gráficas da distribuição de frequência das classes de espaçamento entre plantas, da distribuição longitudinal de plantas e da produtividade de soja.



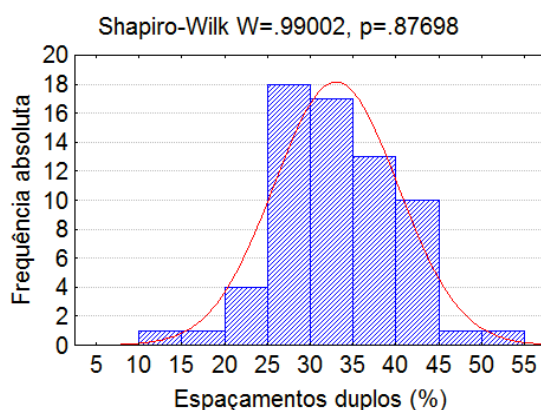


Figura 2. Distribuição de frequência das classes de espaçamento entre plantas (falho, normal e duplo); da distribuição longitudinal de plantas (plantas m-1) e da produtividade de soja (kg ha⁻¹). Safra de Soja 2015/2016. Curitiba/SC, 2016.

Na Tabela 2 é apresentado o resultado da análise de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas. A produtividade de soja não apresentou correlação significativa com nenhum dos atributos estudados, fato este que pode estar relacionado com a plasticidade produtiva da cultura, e que consiste na capacidade da planta de se adaptar às condições ambientais e de manejo, por meio de modificações em sua morfologia e nos componentes do rendimento (PIRES et al, 2000). Correlação negativa significativa foi observada entre EF com EN e PM, indicando que ao aumentar a porcentagem de EF, a porcentagem de EN e a quantidade de PM diminuem. Correlação positiva significativa foi observada entre ED e PM, este fato é indicativo de que quanto maior o número de PM, maior a quantidade de ED, ou seja, ocorreu um incremento na deposição de sementes por metro de linha de semeadura.

Tabela 2. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas. Safra de Soja 2015/2016. Curitiba/SC, 2016.

	EF	EN	ED	PM	PRD
EF ⁽¹⁾	1,00				
EN ⁽²⁾	-0,61*	1,00			
ED ⁽³⁾	-0,18	-0,67*	1,00		
PM ⁽⁴⁾	-0,71*	0,07	0,58*	1,00	
PRD ⁽⁵⁾	0,24	-0,22	0,05	-0,20	1,00

⁽¹⁾Espaçamentos falhos; ⁽²⁾Espaçamentos normais; ⁽³⁾Espaçamentos duplos; ⁽⁴⁾Plantas por metro; ⁽⁵⁾Produtividade de soja. *Significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros dos semivariogramas teóricos das classes de espaçamento entre plantas, distribuição longitudinal e

produtividade de soja e da análise de validação cruzada dos atributos que apresentaram dependência espacial, EF e EN. O modelo teórico ajustado ao semivariograma da classe dos EF foi o gaussiano, enquanto que para a classe dos EN, o que melhor se ajustou foi o modelo esférico, ambos os modelos apresentaram elevado coeficiente de determinação (R^2), porém o maior coeficiente observado foi o modelo ajustado para EF de 0,97 e o menor coeficiente observado foi 0,82 para o atributo EN. Segundo Bottega et al. (2013) o modelo gaussiano e o modelo esférico representam, respectivamente, elevada e baixa continuidade da variabilidade espacial do atributo.

Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas teóricos e da análise de validação cruzada referente à modelagem da dependência espacial das classes de espaçamento entre plantas, distribuição longitudinal de plantas e produtividade de soja. Safra de Soja 2015/2016. Curitiba/SC, 2016

Parâmetros geoestatísticos							
Atributo	Modelo	a ⁽¹⁾	C ₀ +C ⁽²⁾	C ₀ ⁽³⁾	IDE ⁽⁴⁾	SQR ⁽⁵⁾	R ²⁽⁶⁾
EF ⁽⁷⁾	Gaussiano	84,9	79,91	37	Moderado	32,9	0,976
EN ⁽⁸⁾	Esférico	96,5	92,13	30,2	Moderado	169	0,821
ED ⁽⁹⁾	----- Efeito pepita puro -----						
PM ⁽¹⁰⁾	----- Efeito pepita puro -----						
PRD ⁽¹¹⁾	----- Efeito pepita puro -----						
Parâmetros da análise de validação cruzada							
	Coeficiente de Regressão	Y ⁽¹²⁾		EPP ⁽¹³⁾		R ²	
EF	0,85	2,66		7,62		0,19	
EN	0,86	6,8		8,32		0,21	

⁽¹⁾Alcance (m); ⁽²⁾Patamar; ⁽³⁾Efeito pepita; ⁽⁴⁾Índice de dependência espacial; ⁽⁵⁾Soma de quadrados do resíduo; ⁽⁶⁾Coeficiente de determinação; ⁽⁷⁾Espaçamentos falhos (%); ⁽⁸⁾Espaçamentos normais (%); ⁽⁹⁾Espaçamentos duplos (%); ⁽¹⁰⁾Plantas por metro; ⁽¹¹⁾Produtividade de soja ⁽¹²⁾Intercepto; ⁽¹³⁾Erro padrão de predição.

Na análise do índice de dependência espacial as classes de EF e EN apresentaram dependência espacial moderada, resultados estes diferentes dos observados por Santos et al. (2011) que avaliaram a distribuição longitudinal de sementes de milho, embora culturas com características e plasticidade distintas, não encontraram dependência espacial nas classes de EF e EN.

O alcance (a) representa a distância h em que o valor da semivariância se estabiliza em um patamar correspondente a distância limite da dependência espacial, ou seja, o alcance da dependência espacial indica a distância máxima em que pontos amostrais apresentam correlação entre si (GREGO; VIEIRA,

2005; VIEIRA, 2010). O menor alcance da dependência espacial foi 84,9 metros para o atributo EF e o maior alcance foi de 96,5 metros para a variável EN, ambos superiores a distância de 50 metros entre os pontos amostrais.

Os atributos PM, ED e produtividade de soja apresentaram efeito pepita puro, ou seja, a variância dos dados não é influenciada pela variância espacial, não havendo portanto, dependência espacial da variável. Esses resultados indicam que a distribuição espacial desses atributos é homogênea e aleatória, do mesmo modo que podem ser explicados em função de microvariações não detectadas pela distância entre pontos utilizada ou devido a erros de medida. Em relação à dependência espacial da produtividade de soja, resultados semelhantes e distintos foram encontrados anteriormente, com ausência de dependência espacial (BAKSHSH et al., 2000; SILVA et al., 2009), e dependência espacial moderada (AMADO et al., 2007; REICHERT et al., 2008; VIEIRA et al., 2010; GAZOLLA-NETO et al., 2016).

A validação cruzada tem o intuito de avaliar os semivariogramas quanto ao seu desempenho na predição de valores, na sua análise cada valor amostrado é retirado individualmente, sendo então estimado pelo modelo, com isso pode-se verificar se os dados estimados pelo modelo estão de acordo com os valores medidos para todos os pontos (FREDDI et al., 2005; FARACO et al., 2008). Na validação cruzada o mais adequado seria que a distribuição dos pontos fossem em torno da reta ideal, que apresenta coeficientes de regressão e de determinação igual a 1 e corta a origem do eixo Y (intercepto) no valor zero. Dessa forma, o coeficiente de regressão dos EF e dos EN foram próximos ao ideal, respectivamente, 0,85 e 0,86, entretanto para o coeficiente de determinação, os valores obtidos para EF e EN foram distantes do ideal, sendo de modo respectivo 0,19 e 0,21.

Para os valores do erro padrão da predição, que avalia a extensão do erro entre os valores obtidos da estimativa do modelo e os valores fornecidos pela amostra, é esperado que estes sejam o mínimo possível, sendo que os parâmetros EF e EN apresentaram erro padrão de predição de 7,62 e 8,32, respectivamente.

Na Figura 3 são apresentados os mapas temáticos da distribuição espacial dos atributos que apresentaram dependência espacial, EF e EN. Os mapas foram gerados a partir da interpolação dos valores amostrados, através

da técnica de krigagem ordinária. Grego e Vieira (2005) ressaltam que a construção de mapas com os valores obtidos por meio de krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial.

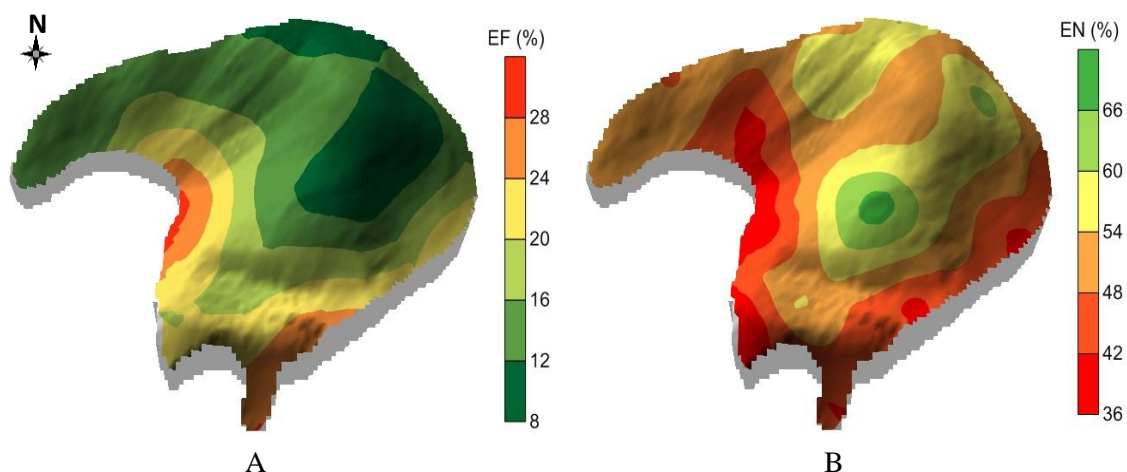


Figura 3. Mapas temáticos da distribuição espacial dos espaçamentos falhos (A) e espaçamentos normais (B). Safra de Soja 2015/2016. Curitiba/SC, 2016

Ambos os mapas foram produzidos com seis classes de divisão que representam a distribuição da porcentagem dos valores de EF e EN na área. Nas regiões com valores maiores para EN são encontrados valores mais baixos para EF e vice-versa, o que é lógico de se esperar para classes que representam uma proporção dentro de uma mesma variável (espaçamentos), sendo que o aumento de um implica na redução do outro.

As regiões com menor porcentagem de EF foram as que apresentaram maior altitude na área, e as regiões de menor altitude as que apresentaram menor proporção de EN, o que pode ter sido em função da realização da semeadura no sentido da declividade, que propicia a maiores perdas de solo por erosão da chuva das áreas mais elevadas para a parte mais baixa da área, dificultando a emergência das plântulas nas áreas de menor altitude e aumentando assim a porcentagem dos EF e reduzindo os EN nas linhas. Na zona centro oeste da área onde houve maior porcentagem de EF, é suposto que isto pode ter ocorrido em função da compactação do solo devido ao tráfego de animais no período de inverno para a dessedentação no reservatório de água presente na área. E na extremidade sul da área, a maior porcentagem de

EF pode ter ocorrido também pela compactação do solo, porém, devido a dificuldade de manobrar a semeadora em espaço reduzido.

Outra hipótese levantada é a de que nas regiões de menor altitude do terreno, a diminuição de EN e aumento de EF se deu em razão da maior velocidade de semeadura, já que o terreno nesta parte era mais plano com menos irregularidade. De acordo com Pinheiro Neto et al. (2008), Cortez et al. (2006) e Santos et al (2011), em pesquisas com velocidades de semeadura, com o aumento da velocidade de semeadura houve redução na porcentagem de EN e aumento na porcentagem de EF. Porém, não é possível afirmar que a velocidade de semeadura tenha exercido influencia na porcentagem das classes de espaçamentos, pois a mesma não foi verificada ou avaliada no presente trabalho.

4 CONCLUSÕES

A variabilidade espacial dos atributos EF e EN apresentou dependência espacial classificada como moderada, com alcances de 84,9 e 96,5 metros, respectivamente.

A classe de espaçamentos duplos, plantas por metro e produtividade de soja não apresentaram dependência espacial na distância entre pontos amostrais utilizada.

A produtividade de soja não apresentou correlação significativa com plantas por metro, espaçamentos normais, espaçamentos falhos e espaçamentos duplos.

Longitudinal distribution and soybean yield in crop-livestock integration system

Daniel Alves da Veiga Grubert

Abstract

The sowing operation is of great importance in crop yield, because the uniformity of the longitudinal distribution of plants can contribute to an adequate plant stand and improved yield. The aim of this work was to study the spatial variability of longitudinal distribution of plants and soybean yield by classical statistics (descriptive and exploratory), geostatistics (spatial analysis) to check and measure the magnitude of the spatial dependence, and maps creation through kriging technique. The experiment was conducted in a commercial area under integrated crop-livestock system in Curitibanos, Santa Catarina State. To achieve this purpose, a sampling grid of 66 georeferenced points was established, spaced 50 meters each other. At each sampling point was measured the distance between plants, plants per meter and the harvest of these plants, on three lines of a meter long, being then determined the percentage of normal spacing, flawed and double as well as soybean yield. The collected data were the basis for the statistical and geostatistical analysis. The spatial variability of the attributes flawed spacing (FE) and normal spacing (NE) showed spatial dependence classified as moderate, with ranges of 84.9 and 96.5 meters, respectively. The class of double spacing (DE) plants per meter (PM) and soybean yield exhibited no spatial dependence on the distance between sample points that has been used, indicating that their distributions are random and variations can be explained using parameters of classical statistics. Soybean yield was not significantly correlated with any of the studied attributes.

Keywords: *Glycine max*. Spatial variability. Geostatistics. Kriging.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711–728, 2013.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Semeadora de precisão: ensaio de laboratório/método de ensaio**, projeto de norma 12:02.06-004. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 21p.
- BAKHSH, A.; JAYNES, D. B.; COLVIN, T. S.; KANWAR, R. S. Spatio-temporal analysis of yield variability for a corn-soybean field in Iowa. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.43, p. 31-38, 2000.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, sexto levantamento**, Brasília, v. 6, p. 1-140, 2016.
- CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.502-510, 2006.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552, 2012.
- DIAS, V. O.; ALONÇO, A. S. BAUMHARDT, U. B.; BONOTTO, G. J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; CENTURION, J. F.; BARBOSA, G. F. Variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional e plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 61-67, 2005.

GAZOLLA-NETO, A.; FERNANDES, M. C.; VERGARA, R. O.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Spatial distribution of the chemical properties of the soil and of soybean yield in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 325-333, 2016.

GOLDEN SOFTWARE, INC. Surfer for Windows version 8.0. 2002.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.02, p. 169-177, 2005.

KLEIN, V.A.; SIOTA, T.A.; ANESI, A.L.; BARBOSA, R. Efeito da velocidade na semeadura direta da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.1, p. 75-82, 2002.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.O.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v.48, n.2, p.249-62, 1989.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996, 722 p.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.

PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO, A. C. Desempenho de mecanismos dosadores de sementes em diferentes velocidades e condições de cobertura de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 611-617, 2008.

PIRES, J. L. F.; COSTA, J. A.; THOMAS, A. L.; MAEHLER, A. R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

RAMBO, L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F. G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2012. 500 p.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geoestatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Desing Software, 1998. 152p.

SANTOS, A. J. M.; GAMERO, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; VILLEN, A. C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 16-23, 2011.

SILVA, J. M.; LIMA, J. S. S.; MADEIROS, L. B. VIEIRA, A. O. Variabilidade espacial da produtividade da soja sob dois sistemas de cultivo no cerrado. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 397-409, 2009.

SILVEIRA, J. C. M.; GABRIEL FILHO, A.; TIEPPO, R. C.; TORRES, D. G. B.; BALDESSIN JÚNIOR, A.; BOLIGON, F. Uniformidade de distribuição de plantas e estande de milho (*Zea mays* L.) em função do mecanismo dosador de sementes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 467-472, 2005.

STATSOFT, INC. Programa computacional Statistica 7.0. E.A.U. 2004.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; SILVA, L. A.; ALMEIDA, L. G. P. Semeadoras-adubadoras em semeadura convencional de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.241-245, 2009.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Editora UFV, 2000. p. 93-108.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1503-1514, 2010.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.